

放射線計測による原子核の研究

著者	藤平 力
号	32
発行年	1961
URL	http://hdl.handle.net/10097/23049

とう
藤

へい
平

つとむ
力

授 与 学 位

理 学 博 士

学位授与年月日

昭和 36 年 9 月 21 日

学 位 記 番 号

理 博 第 32 号

学位授与の根拠法規

学位規則第 5 条第 1 項

研究科，専攻の名称

東北大学大学院理学研究科
(博士課程) 物理学専攻

学 位 論 文 題 目

放射線計測による原子核の
研究

指 導 教 官 東北大学教授

木 村 一 治

論 文 審 査 委 員 東北大学教授

木 村 一 治

東北大学教授

森 田 右

東北大学教授

中 林 陸 夫

論 文 目 次

序 論

第一章 $C1^{34m}$ の崩壊形式

第二章 $C1^{39}$ の崩壊形式

論文内容要旨

序 論

原子核を研究する大まかな区分として、反応の機構を問題にするものと、核構造そのものを問題にする取扱い方に分けられる。核構造の研究は、M. G. Mayer と、J. H. D. Jensen が殻模型を提案して以来、原子核実験技術、とりわけ、Electronicsの進歩により、最近では、 $m\mu$ sec の同時計数が可能になり、その head に相当する Scintillator の研究により、 β 線及び γ 線の分析が非常に容易になり、核分光學と云う一分野を形成した。

軽い核の構造、即ち原子核の静的特性を調べるのが研究の目的である。しかも、従来の方法では測定出来なかつた微細な構造を究明するために $4''\phi \times 4''$ の大型 NaI (Tl) 結晶と、100 チャンネル、波高分析器を用いた。大型結晶は微弱な γ 線及び高エネルギー γ 線を測定することが出来る。又マルチ・チャンネル波高分析器は短半減期の崩壊機構を調べるに最も有力である。

放射線源即ち研究対象となる放射線源は、東北 25 Mev ビータートロンの制動輻射による (γ, n) (γ, p) 反応によつて作つた。研究目的が、まだ充分研究されていない高い励起状態を研究することと、まだ正確には知られていない準位間の微弱な γ 線を検出して、準位の構造を研究するにある。そう云う意味では、軽い核にその主力が注れる。特に長い間、軽い核のアイソマーとして未解決だつた Cl^{34m} と、閉殻近傍には Cl^{39} がある。 Cl^{34m} は軽い核のアイソマーとしてだけでなく、偶一偶核の面白い性質を持つており、研究の結果によると、殻模型による通常の準位と、振動模型による準位があると考えられる。又 Cl^{39} は Ca^{40} が閉殻であるため、その近傍の核として殻模型がよく成立つことがわかつた。

第一章 Cl^{34m} の崩壊形式

§ 1. 序論

Cl^{34m} の陽電子崩壊による γ 線は、H. K. Ticho にて発見され、Stäbelin 等によつて isomeric state から崩壊することが確認された。又低い励起状態の研究はされているが、高い励起状態の研究は Morinaga - Bleuler にてなされたのみである。彼等は高エネルギーの γ 線を正確に求めていなかつたが、 $Cl^{37}(p, \alpha)S^{34}$ 、 $P^{31}(\alpha, p)S^{34}$ 等の核反応の研究より、高い励起状態にいくつかの準位が発見され、従つて、どの準位からこの微弱な γ 線が放出されているのか、又これらの準位から Cascade に微弱な γ 線が放出されていないかを調べることは興味あることである。何故なら、偶一偶核としての殻模型に合う準位ばかりでなく、振動模型による準位がこの辺の軽い核にも現われることは考えられるからである。

§ 2. 実験方法及び測定結果

Cl^{34} は東北 25 Mev ビータートロンの制動輻射による γ 線で $Cl^{35}(\gamma, n)Cl^{34}$ の光核反応で作つた。試料は特級 NaCl 及び特級 CCl_4 を用いた。 CCl_4 の場合は Szilard - Chalmers の方法で化学的に分離した。放射不純物は検出されなかつた。

G-M Counter で測定された半減期は 32.4 分であつた。 γ 線のスペクトルは Du-Mont 6364 光電子増倍管と Sunvic 100 チャンネル波高分析器を結合させた $4''\phi \times 4''$ 大型 NaI (Tl) 結晶で測定した。この測定で γ 線は $5cm\phi \times 10cm$ の鉛スリットによつてコリメートされ、NaI 結晶の前には、4.5 Mev 陽電子を除くために $2.8g/cm^2$ のアクリル板をおいた。これは吸収の実験から決めた。高エネルギー γ 線を正確に求めるため、その直線性を充分注意した。その結果は非常によい直線性が得られた。分岐率を求めるためには $4''\phi \times 4''$ NaI の Response function は全吸収効率と Photo-fraction より求めた。Photo-fraction は、同一の幾何学的条件の下で、種々の同位元素に対して求めた。その結果によると、高エネルギー部分で、平行ビームを入れた場合の理論値よりも低

くなる。これは γ 線が放射状に入るために、理論式に於いて結晶が見かけ上、小さくなるためと、理論式に於いて one quanta escape の評価が実際よりも小さく見積つているためと思われる。これは $F^{19}(p, \alpha\gamma)$ による 6.14 Mev の γ 線で理論と同じ条件で測定した結果からも結論づけられる。

単一スペクトルをとると、1.17, 2.14, 3.32, 4.10 Mev のピークが見られる。0.145 Mev ピークは、陽電子の 0.51 Mev ピークにマスクされて正確にはつかまえない。同時計数によるスペクトルによると次のようになる。1.17 Mev の Photopeak と同時計数する γ 線として、既知の 2.14 Mev 以外に、0.77, 0.64, 0.51, 1.17 Mev の γ 線があつた。1.17 Mev の γ 線は 2.14 Mev γ 線の tail による同時計数であり、0.51 Mev の γ 線は 2.14 Mev の γ 線転位に導く陽電子消滅によるものである。従つて、0.77, 0.64 Mev は非常に微弱な未知の γ 線である。2.14 Mev の Photopeak と同時計数する γ 線としては、既知の 1.17 Mev 以外に、0.77, 0.63, 0.51 Mev の γ 線があつた。0.51 Mev の γ 線はやはり陽電子消滅の γ 線である。従つて未知の 0.77, 0.63 Mev の非常に微弱な γ 線は 2.14 Mev と同時計数することになる。最後に 3.32 Mev の Photopeak と同時計数するスペクトルをとると、0.77, 0.65, 0.51 Mev の 3 つの γ 線があつた。0.51 Mev は同じ陽電子消滅 γ 線である。これらのことから考えると、0.77, 0.64 Mev の微弱な γ 線は、1.17, 2.14, 3.32 Mev の各 γ 線 と同時計数することになる。単一スペクトルから γ 線の分岐率を求めると、1.17 Mev : 2.14 Mev : 3.32 Mev : 4.10 Mev = 32 : 100 : 32 : 1.0 である。

§ 3. 結論

これらの結果からすると、 Cl^{34m} の崩壊形式は書き改めねばならない。即ち従来知られていた 2.13 Mev の第一励起状態 (2^+) より基底状態 (0^+) に転移する 2.14 Mev の γ 線、3.30 Mev の第二励起状態 (2^+) より基底状態に転移する 3.32 Mev の γ 線及び、第二励起状態を通じて cascade に転移する 1.17, 2.14 Mev の γ 線以外に非常に微弱な 3 つの γ 線が存在することになる。即ち 3.92 Mev の第三励起状態より第二励起状態に行く 0.64 Mev の γ 線、4.07 Mev の第四励起状態より第二励起状態に行く 0.77 Mev の γ 線、4.11 Mev の第五励起状態より基底状態に行く 4.10 Mev の γ 線である。これらの励起状態は核反応から発見された準位と非常によく一致している。Log. f. t 値及び、 γ 線の分岐率から考えると、第三、第四励起状態は 3^+ 又は 4^+ であると考えられる。又第五励起状態は 2^+ である。

軽い偶-偶核で 2^+ 状態が非常に多い例は、 Mg^{26} , Si^{28} , S^{32} 等でも起つている。 γ 線の分岐率から考えると、 S^{34} の準位は、 $S_{1/2}$ と $d_{3/2}$ の配位混合によつて単一粒子励起による殻模型からも説明し得るが、 2^+ 準位を 3 つも出すことは困難である。それより振動模型による準位が現われていると考える方が適當である。即ち、2.13, 4.11 Mev の各準位は振動模型による $N=1$, $N=2$ の準位と考えるとその比は大体、2 となり合う。4.11 Mev 準位は、 0^+ , 2^+ , 4^+ の三重状態でなければならないが、 S^{34} は、わずかにゆがんでいるために 0^+ 状態はずつと高い所 (多分 4.3 Mev 準位) に上つてしまつて、 2^+ , 4^+ だけが出るのであろう。従つて、3.92 又は 4.07 Mev 準位のいずれかは $N=2$ による振動模型による 4^+ であろう。そして 3.30 Mev 状態と 3.92 又は 4.07 Mev のいずれかの状態が通常の殻模型による準位であろう。この場合分岐率がよい一致を見ないが、かゝる混合した状態で振動模型が軽い核まで適用される場合には、多分他の撰択則があるのではあるまいか。

第二章 Cl^{39} の崩壊形式

§ 1. 序論

Cl^{39} の崩壊は J. R. Penning 等によつてなされただけである。しかも 60 インチサイクロトロンで 37 Mev の α 線を使い $A^{40}(\alpha, \alpha p)Cl^{39}$ で作つたため、 $A^{40}(\alpha, \alpha pn)Cl^{38}$ の不純物放射

能が混つて高エネルギー部分を測定出来なかつた。即ち Cl^{39} は基底状態が $\frac{3}{2}^{+}$ で、 A^{39} の 1.52 Mev の第二励起状態 ($\frac{3}{2}^{+}$) に大部分崩壊し、0.246, 1.27 Mev の Cascade γ 線及び 1.52 Mev の γ 線を出して転移する。これは、 A^{39} の基底状態が $\frac{7}{2}^{-}$, 1.27 Mev の第一励起状態が $\frac{3}{2}^{-}$ 又は $\frac{5}{2}^{-}$ であるため第一禁止転移になるためである。しかるに、単純な殻模型による計算をすると 2 Mev 近傍に $\frac{1}{2}^{-}$ 又は $\frac{5}{2}^{-}$ の準位があつてもよい。従つて第一禁止転移で微弱な γ 線が発見されるかも知れない。

§ 2. 実験方法及び結果

光核反応による反応は、その制動輻射による最大エネルギーを変えることによつて、しきい値の異なる反応の Yield の比を自由に換えられる。 $\text{A}^{40}(\gamma, p)\text{Cl}^{39}$ と $\text{A}^{40}(\gamma, np)\text{Cl}^{38}$ のしきい値はひどく異なる。従つて Cl^{38} ($\tau_{1/2} = 37.5$ 分) による 2.14 Mev の γ 線があつてもピータートロンの最大エネルギーを変えれば、 Cl^{39} ($\tau_{1/2} = 55.5$ 分) に属する 1.27 及び 1.52 Mev の γ 線との生成比率が變つて来るからわかるはずである。又、 (γ, np) のしきい値以下の最大エネルギーで照射すれば区別し得る。これらの方法と半減期の違いを併用すれば更に明らかになる。従つて、 (γ, np) しきい値以上の 24.7 Mev, しきい値近傍の 20 Mev, しきい値以下の 19 Mev で照射した。

試料は、アルゴンガスを液体窒素で液化して照射した。サイクロトロンの場合と異り、ピータートロンの場合には外部照射が出来るので液化することによつて照射モル数を大きく上げることが出来る。アルゴンの沸点が 87°K であるに対して窒素の沸点が 77°K であることを利用した。照射により生成された Cl^{39} は、Szilard - Chalmers で free ion となり大部分がガラス管の壁につく。照射後ガスとしてアルゴンを除去し、Cl を化学処理により取り出して、測定した。測定方法は $\text{Cl}^{34\text{m}}$ の場合と同じである。

照射エネルギー及び照射後の測定時間を変えて分析した結果、既知の 0.21 ± 0.02 , 1.27 ± 0.02 , 1.51 ± 0.02 Mev の γ 線以外に 1.80 ± 0.02 Mev の非常に微弱な γ 線が発見された。同時計数によれば 0.21 Mev と 1.27 Mev が同時計数するだけで、1.51 及び 1.80 Mev の線は、どの γ 線とも同時計数しない。

§ 3 結論

0.21, 1.27 及び 1.51 Mev の γ 線は、そのエネルギー及び分岐率からも Penning 等の実験と一致する。しかし、彼等が Cl^{38} の不純物放射能のために、その存在を確認出来なかつた 1.80 Mev γ 線が発見された。この $\text{Log. f. t} \approx 7.5$ で、従つて第一禁止転移に属する。これは最初に 2 Mev 近傍に $\frac{1}{2}^{-}$ 又は $\frac{5}{2}^{-}$ の準位が存在し得るとした仮定と一致する。従つて閉殻近傍では、殻模型が割合よく成立するものと考えられる。計算と実際のエネルギーの違いは、計算そのものが単純な殻模型を仮定した近似計算のため生じたものであろう。

結 語

以上見て来た様に、 $4" \phi \times 4"$ の大型 NaI(Tl) 結晶は微弱な γ 線及び高エネルギー γ 線の分析に非常に有効である。又、100 チャンネル波高分析器は短半減期の γ 線の崩壊を見るのに便利である。特に γ 線が何本か存在する場合、その所屬を確実に決めることが出来る。核構造の研究が盛んになり、短半減期の同位元素が解明される様になつたのは、実に、マルチ・チャンネル波高分析器の出現によると言つても過言ではない。

$\text{Cl}^{34\text{m}}$ や Cl^{39} に見られた様に、これらの放射線測定器を用いて、微弱な γ 線及び高エネルギー γ 線を分析することが出来る。これらは、核構造の精密化に役立つ。 S^{34} のみならず、多分軽

い偶一偶核に於いても 2^+ 状態の多い核は振動準位が現われるものと思われる。それは Mg^{25} の様にゆがんだ核では、重い核に於いて、そのゆがんだ場合に現われる回転準位が典型的によく現われていることから考えても当然あり得ることである。又、閉殻近傍に於ては殻模型がよい近似となるであろう。

参 考 文 献

K^{44} の崩壊

Structure of Giant Resonance in $Al^{27}(p\gamma)$ Reaction Measurement
of Bremsstrahlung Spectra with Sodium Iodide Scintillation Crystal

東北大学40Mevシンクロトロン建設報告

Initial Performance of the Tohoku Electron Synchrotron and
the Visible Rays caused by the Circulating Electrons

論文審査要旨

藤平力の研究は、軽い核の励起エネルギー準位の構造を主に、 γ 線分析の方法によつて決定しようとしたものである。特に、 Cl^{34m} 及び Cl^{39} の崩壊を主として調べたもので、それぞれ四塩化炭素及び液化されたアルゴンを東北大学 25 Mev ベータトロンのガンマ線で照射して得られた Cl^{34m} (半減期 32 分) 及び Cl^{39} (56 分) のガンマ線を $4'' \times 4''$ の大型 NaI(Tl) シンチレーション結晶体及び 100 区分波高分析器で分析した。主に、単一スペクトル及び同時計数スペクトルを取つて分析した。大型結晶を用いたため、従来分析できなかった微弱なガンマ線や高エネルギーガンマ線を分析し得た。 Cl^{34m} については、 $\text{Cl}^{35}(\gamma, n)$ 反応でできる Cl^{34m} をスチラード・チャルマースの方法で化学的に分離した。藤平の得た新知見を要約すれば、3.92 Mev の S^{34} の第 3 励起状態より第 2 励起状態に行く 0.64 Mev の γ 線、4.07 Mev の第 4 励起状態より基底状態に行く 0.77 Mev の γ 線を 4.11 Mev の第 5 励起状態より基底状態に行く 4.10 Mev の γ 線を確認し、これらの励起状態は核反応から予期される準位と非常によく一致することを認めたことである。

また、これらの状態のスピンのバリティは、それぞれ 3^+ 、 4^+ 及び 2^+ であろうと結論された。この種の軽い核の準位構造については、一粒子励起による殻模型、振動模型による準位など二、三の考え方があつたが、藤平はこれらの点につき考察を行い、振動模型から予想される準位及び通常の殻模型から予想される準位に分析した。

Cl^{39} については、従来知られていたガンマ線の他に、1.80 Mev のガンマ線が存在し、これは殻模型から予想される $1\frac{1}{2}$ 又は $5\frac{1}{2}$ の準位に相当するものであることを結論した。尚、ベータ線分析については、渦巻型ベータ線スペクトロメータを試作し、その性能をしらべたが、それによるベータ線分析は上記の準位分析に特に有用な結果を与えないので利用していない。

参考論文は 6 篇あり、多岐にわたるが、加速装置に関するもの、ガンマ線分析法に関するもの、他の核種の核分光に関するもの等であり、いずれも主論文の参考として有意義のものである。

よつて藤平力の提出した論文は、理学博士の学位論文として合格と認める。